

P-0362 ct

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-267211

(43)Date of publication of application : 28.09.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01B 11/00

G02B 7/28

G03F 7/20

G03F 9/00

(21)Application number : 2000-073475

(71)Applicant : NIKON CORP

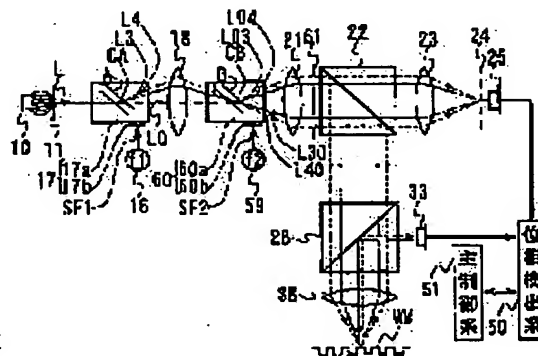
(22)Date of filing : 16.03.2000

(72)Inventor : MIZUTANI HIDEO

**(54) METHOD AND DEVICE FOR DETECTING POSITION AND METHOD AND DEVICE FOR EXPOSURE USING THE METHOD FOR DETECTING POSITION****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To align an object to be inspected with high accuracy by reducing the position detecting error caused by the asymmetry of a diffraction grating-like mark.

**SOLUTION:** Two luminous fluxes L03 and 30 having different frequencies are made incident to the diffraction grating-like mark WM formed on a wafer at prescribed incident angles and the  $\pm 3$ rd order diffracted light generated from the mark WM is detected by means of a photoelectric detector 33. Then, two luminous fluxes L04 and L40 having different frequencies are made incident on the mark WM at prescribed incident angles which are different from those of the luminous fluxes L03 and L30 and the  $\pm 4$ th order diffracted light generated from the mark WM is detected by means of the photoelectric detector 33. The alignment of the wafer is performed by correcting the position detecting error caused by the asymmetry of the cross-sectional shape of the mark WM based on beat signals respectively obtained upon detecting the  $\pm 3$ rd order and  $\pm 4$ th order diffracted light rays.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

SI:TTW 98.0009 S0J1

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



THIS PAGE BLANK (USPTO)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体上に形成されたマークの位置を計測する位置検出方法であって、  
所定波長を有する第1の2光束を、前記マークに対して、異なる2方向から第1の入射角で入射せしめ、  
前記所定波長を有し、前記第1の2光束とは異なる第2の2光束を、前記マークに対して、異なる2方向から前記第1の入射角とは異なる第2の入射角で入射せしめ、  
前記複数の光束の入射により前記マークから発生した回折ビームに基づいて、前記マークの位置情報を求めることを特徴とする位置検出方法。

【請求項2】 前記第1の2光束の入射により前記マークから所定方向に発生した回折ビーム同士の第1干渉ビームを検出し、  
前記第2の2光束の入射により前記マークから前記所定方向に発生した回折ビーム同士の第2干渉ビームを検出し、  
前記第1、第2干渉ビームの検出結果に基づいて、前記マークの位置情報を求めることを特徴とする請求項1記載の位置検出方法。

【請求項3】 前記第1干渉ビームは、所定次数の回折ビームを含み、  
前記第2干渉ビームは、前記所定次数とは異なる次数の回折ビームを含むことを特徴とする請求項2記載の位置検出方法。

【請求項4】 前記各干渉ビームを構成する回折ビームの次数、前記干渉ビームに基づく信号のSN比、又は前記信号の強度に基づいて、前記第1干渉ビームと前記第2干渉ビームとのうちのいずれか一方を選択し、該選択された干渉ビームの検出結果に基づいて、前記マークの位置情報を求めることを特徴とする請求項2又は3記載の位置検出方法。

【請求項5】 前記第1の2光束を前記マークに入射させた状態と、前記第2の2光束を前記マークに入射させた状態とを時間的に切り換えることを特徴とする請求項1～4の何れか一項記載の位置検出方法。

【請求項6】 前記第1の2光束と前記第2の2光束とを空間的に分離することを特徴とする請求項1～4の何れか一項記載の位置検出方法。

【請求項7】 前記第1の2光束は互いに周波数が異なり、前記第2の2光束も互いに周波数が異なることを特徴とする請求項1～6の何れか一項記載の位置検出方法。

【請求項8】 露光ビームを用いて物体上に所定パターンを形成する露光方法であって、  
請求項1～7の何れか一項記載の位置検出方法により検出された前記マークの位置情報に基づいて、前記物体の位置合わせを行い、  
前記位置合わせが行われた前記物体上に前記所定パターンを露光することを特徴とする露光方法。

【請求項9】 物体上に形成されたマークの位置を計測する位置検出装置であって、  
所定波長を有する第1の2光束と、前記所定波長を有する第2の2光束とを生成する2光束生成手段と、  
前記第1及び第2の2光束を、前記マークに対して異なる2方向から入射せしめる照射手段と、  
前記第1及び第2の2光束の照射により前記マークから発生した回折ビームを検出する検出手段とを有し、  
前記第1の2光束は、前記マークに対する前記第2の2光束の入射角とは異なる入射角で、前記マークに入射することを特徴とする位置検出装置。

【請求項10】 前記検出手段は、前記第1の2光束の入射により前記マークから所定方向に発生した回折ビーム同士の第1干渉ビーム、及び前記第2の2光束の入射により前記マークから前記所定方向に発生した回折ビーム同士の第2干渉ビームを検出し、  
前記第1、第2干渉ビームの検出結果に基づいて、前記マークの位置情報を求めることを特徴とする請求項9に記載の位置検出装置。

【請求項11】 前記第1干渉ビームは、所定次数の回折ビームを含み、前記第2干渉ビームは、前記所定次数とは異なる次数の回折ビームを含むことを特徴とする請求項10に記載の位置検出装置。

【請求項12】 前記各干渉ビームを構成する回折ビームの次数、前記干渉ビームに基づく信号のSN比、又は前記信号の強度に基づいて、前記第1干渉ビームと前記第2干渉ビームとのうちのいずれか一方を選択する選択手段を更に有し、  
前記選択された干渉ビームの検出結果に基づいて、前記マークの位置情報を求めることを特徴とする請求項9又は10記載の位置検出装置。

【請求項13】 前記2光束生成手段は、音響光学素子を含み、前記音響光学素子に印加する超音波の周波数を変更することにより、前記入射角の異なる2光束を生成することを特徴とする請求項9～12の何れか一項記載の位置検出装置。

【請求項14】 前記2光束生成手段は、前記音響光学素子に印加する前記超音波の周波数を時分割に変更することにより、それぞれ入射角の異なる前記第1の2光束と前記第2の2光束とを時分割で生成することを特徴とする請求項13記載の位置検出装置。

【請求項15】 前記2光束生成手段は、前記第1の光束の入射角に応じた複数の周波数の超音波と、前記第2の光束の入射角に応じた複数の周波数の超音波とを、前記音響光学素子に実質的に同時に印加することにより、それぞれ入射角の異なる前記第1の2光束と前記第2の2光束とを実質的に同時に生成することを特徴とする請求項13記載の位置検出装置。

【請求項16】 前記第1の2光束は互いに周波数が異なり、前記第2の2光束も互いに周波数が異なることを

THIS PAGE BLANK (USPTO)

特徴とする請求項 9～15 の何れか一項記載の位置検出装置。

【請求項 17】 露光ビームを用いて前記物体上に所定パターンを形成する露光装置であって、請求項 9～16 の何れか一項記載の位置検出装置により検出された前記マークの位置情報に基づいて、前記物体の位置合わせを行い、前記位置合わせが行われた前記物体上に前記所定パターンを露光することを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ヘテロダイン干渉方式の位置検出方法及び位置検出装置に関し、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程においてマスクのパターンを感光性基板上に露光するために使用される露光装置のアライメント系に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等の微細パターンを形成するために、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンを投影光学系を介して感光基板としてのウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するステッパー等の投影露光装置、又はレチクルのパターンを直接ウエハ上に転写するプロキシミティ方式の露光装置等の露光装置が使用されている。例えば半導体素子はウエハ上に多数層の回路パターンを所定の位置関係で積み重ねて形成されるため、ウエハ上の2層目以降に回路パターンを転写する際には、それまでに形成されている各ショット領域内の回路パターンとこれから転写するレチクルのパターンとの位置合わせ（アライメント）を高精度に行う必要がある。

【0003】このため、従来よりレチクルとウエハとを高精度に位置合わせするため、レチクル及びウエハ上に設けられた回折格子状のマーク（アライメントマーク）に2本の位置検出光を所定の2方向から照射し、発生した2つの回折光より得られる干渉光の位相から、マークの位置を計測するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメント装置が使用されてきた。

【0004】このLIA方式のアライメント装置には、マークの格子の周期方向に対して $\pm N$ 次方向から位置検出光を照射し、発生した干渉光（両入射光の $\pm N$ 次回折光の合成光束： $N$ は自然数）を受光する方式（以下、「 $\pm N$ 次光検出方式」と呼ぶ。）と、マークの格子の周期方向に対して $\pm N/2$ 次方向から位置検出光を照射し、一方の入射光（第1の入射光）の0次光と他方の入射光（第2の入射光）の $N$ 次回折光との合成光束と、第2の入射光の0次回折光と第1の入射光の $N$ 次回折光との合成光束とを独立に受光する方式（以下、「 $0-N$ 次光検出方式」と呼ぶ。）とがある。

【0005】また、LIA方式のアライメント装置は、2つの位置検出光の周波数を同一にしたホモダイン方式と、2つの位置検出光に一定の周波数差を持たせたヘテロダイン方式とに大別され、上述の $\pm N$ 次光検出方式及び $0-N$ 次光検出方式は、両者ともヘテロダイン方式及びホモダイン方式の何れの方式でも使用することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来の露光装置ではレチクルとウエハとを高精度に位置合わせするため、LIA方式等のアライメント装置を使用していた。しかしながら、アライメントマークは、ウエハ等の表面に微少な段差を持って形成されており、半導体製造工程におけるエッチングやスパッタ等のウエハプロセス等によって、アライメントマークの断面形状が非対称になる場合には、このマークの非対称性により位置検出精度が低下する不都合があった。

【0007】このため、複数波長の光を位置検出光として用いることにより、マークの非対称性による検出誤差を低減する方法が、特開平9-219362号公報において開示されている。また、WO98/39689号公報において、ホモダイン方式で互いに次数の異なる複数の位置検出光を用いることにより、マークの非対称性による検出誤差を低減する方法が提案されている。

【0008】しかしながら、特開平9-219362号公報の複数波長の光を位置検出光として用いる方法では、例えば $\pm 1$ 次回折光等の単一の次数による検出しが行われないため、CMP（Chemical Mechanical Polishing: 化学機械研磨）等の処理が施された低段差のウエハのアライメントを行う場合には、マークの非対称性による影響を受けやすいという不都合があった。

【0009】また、ホモダイン方式で互いに次数の異なる複数の位置検出光を用いる方法では、使用する位置検出光の次数の種類の数と同じ数の検出器を備える必要があり、装置の構成が複雑になる不都合があった。また、構成上の理由から $\pm N$ 次光検出方式でしか使用できず、 $\pm N$ 次光検出方式は $0-N$ 次光検出方式に比べて信号強度が極端に小さくなるため、十分な検出精度が得られない恐れもあった。

【0010】本発明は斯かる点に鑑み、簡単な構成で、且つ回折格子状マークの非対称性による位置検出誤差を低減して被検物の位置合わせを高精度に行うことができる位置検出方法を提供することを目的とする。更に、本発明はそのような位置検出方法を実施できる位置検出装置、並びにそのような位置検出方法を用いた露光方法及び装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による位置検出方法は、物体（1、4）上に形成されたマーク（RM、WM）の位置を計測する位置検出方法であって、所定波長

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



を有する第1の2光束(L03, L30)を、そのマークに対して、異なる2方向から第1の入射角 $\theta_1$ で入射せしめ、その所定波長を有し、その第1の2光束とは異なる第2の2光束(L04, L40)を、そのマークに対して、異なる2方向からその第1の入射角とは異なる第2の入射角 $\theta_2$ で入射せしめ、その第1及び第2の2光束の入射によりそのマークからそれぞれ発生した回折ビームに基づいて、そのマークの位置情報を求めるものである。

【0012】斯かる本発明によれば、一例として、その第1の2光束の入射によりそのマークから発生した所定次数の回折ビーム同士の第1干渉ビームを検出し、その第2の2光束の入射によりそのマークから発生したその所定次数とは異なる次数の回折ビーム同士の第2干渉ビームを検出する。LIA方式でマークの位置検出を行う場合、そのマークの断面形状の非対称性による検出誤差は、一般に検出する干渉ビームの次数が高い程小さくなる。従って、例えば予めシミュレーション又は実験により干渉ビームの次数と検出誤差との関係を求め、この関係からそのマークの非対称性による検出誤差を推定して補正することによって、そのマークの非対称性による検出誤差を低減することができ、ひいてはその物体の位置合わせを高精度に行うことができる。

【0013】また、その第1の2光束の入射によりそのマークから発生した回折ビームとその第2の2光束の入射によりそのマークから発生した回折ビームとは、同一の光電検出器を用いて検出することができ、装置の構成が簡単になる利点もある。また、それらの各干渉ビームを構成する回折ビームの次数、その干渉ビームに基づく信号のSN比、又はその信号の強度に基づいて、その第1干渉ビームとその第2干渉ビームとのうちのいずれか一方を選択し、この選択された干渉ビームの検出結果に基づいて、そのマークの位置情報を求めることが望ましい。この場合には、マークの非対称性による検出誤差をより高精度に補正することができ、その物体の位置合わせをより高精度に行うことができる。

【0014】また、その第1の2光束をそのマークに入射させた状態と、その第2の2光束をそのマークに入射させた状態とを時間的に切り換えることが望ましい。この場合には、例えば同一の音響光学素子を使用してその第1及び第2の2光束を生成することができ、装置の構成が簡単になる利点がある。また、その第1の2光束と前記その第2の2光束とを空間的に分離することが望ましい。この場合にも、例えば同一の音響光学素子を使用してその第1及び第2の2光束を生成することができ、装置の構成が簡単になる利点がある。

【0015】次に、本発明による露光方法は、露光ビームを用いて物体(4)上に所定パターンを形成する露光方法であって、本発明の位置検出方法により検出されたマーク(WM)の位置情報に基づいて、その物体の位置

合わせを行い、その位置合わせが行われたその物体上にその所定パターンを露光するものである。斯かる本発明によれば、本発明の位置検出方法によりそのマークの位置情報を検出するため、その物体の位置合わせを高精度に行うことができ、その所定パターンをその物体上に高精度に露光することができる。

【0016】次に、本発明による位置検出装置は、物体(1, 4)上に形成されたマーク(RM, WM)の位置を計測する位置検出装置であって、所定波長を有する第1の2光束(L03, L30)と、その所定波長を有する第2の2光束(L04, L40)とを生成する2光束生成手段(10~13, 17, 60)と、その第1及び第2の2光束を、そのマークに対して異なる2方向から入射せしめる照射手段(18a, 18b, 21, 22, 26, 27, 37, 38, 3)と、その第1及び第2の2光束の照射によりそのマークから発生した回折ビームを検出する検出手段(33, 36)とを有し、その第1の2光束は、そのマークに対するその第2の2光束の入射角とは異なる入射角で、そのマークに入射するものである。斯かる本発明の位置検出装置によれば、本発明の位置検出方法を実施することができる。

【0017】また、本発明による露光装置は、露光ビームを用いて物体(4)上に所定パターンを形成する露光装置であって、本発明の位置検出装置により検出されたマーク(WM)の位置情報に基づいて、その物体の位置合わせを行い、その位置合わせが行われたその物体上にその所定パターンを露光するものである。斯かる本発明によれば、本発明の位置検出装置によりその物体の位置合わせを高精度に行うことができ、その所定パターンをその物体上に高精度に露光することができる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図面を参照して説明する。本例は、ステッパ型の投影露光装置に備えられたTTR(スルー・ザ・レチクル)方式で、且つヘテログライン干渉方式のアライメント系に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、2次元的に移動自在なレチクルステージ2上にレチクル1が保持されている。レチクル1のパターン面には転写用の回路パターンが形成され、そのパターン面上のその回路パターンの近傍にアライメントマーク(レチクルマーク)としての回折格子マークRMが形成されている。

【0019】そして、レチクル1の斜め上方に照明光学系40が配置され、露光時には、照明光学系40からの露光光が、レチクル1の上方に45°の傾斜角で斜設されたダイクロイックミラー6により下方へ反射されて、レチクル1上の回路パターンを均一な照度分布で照明する。その露光光のもとでレチクル1上の回路パターンは、投影光学系3を介して所定の投影倍率 $\beta$ でウエハ4上の各ショット領域に投影露光される。ウエハ4の表面

THIS PAGE BLANK (USPTO)

にはフォトレジストが塗布され、その表面は投影光学系3に関してレチクル1のパターン面と共役な面に保持されている。また、ウェハ4上の各ショット領域の近傍には、それぞれレチクル1上の回折格子マークRMと同様のアライメントマーク（ウェハマーク）としての回折格子マークWMが形成されている。以下、投影光学系3の光軸に平行にz軸を取り、z軸に垂直な平面内で図1の紙面に平行にx軸を、図1の紙面に垂直にy軸を取って説明する。

【0020】ウェハ4は、ステップ・アンド・リピート方式でx方向、y方向に2次元的に移動するウェハステージ5上に保持され、ウェハ4上の1つのショット領域に対するレチクル1のパターンの転写露光が完了すると、ウェハ4上の次の露光対象のショット領域が投影光学系3の露光フィールドにステッピングされる。レチクルステージ2及びウェハステージ5におけるx方向、y方向及び回転方向（ $\theta$ 方向）の位置を独立に検出するための不図示の干涉計が各ステージに設けられており、各方向における各ステージの駆動は付属の駆動モータにより行われる。

【0021】一方、回折格子マークRM及びWMの位置を検出するためのアライメント光学系が、ダイクロイックミラー6の上方に設けられている。このアライメント光学系において、光源10は、露光光とは異なる広帯域の光を供給するキセノン（Xe）ランプ又はハロゲンランプ等の白色光源である。光源10からの白色光は、口径可変な可変絞リ11及びコンデンサレンズ12を介することにより平行光束に変換された後、所定の波長域の光を抽出するバンドパスフィルタ13を介して光束Lとして第1の音響光学素子（以下、「AOM」と呼ぶ。）17に入射する。第1のAOM17は、周波数 $f_1$ の高周波信号SF1で駆動されており、AOM17からは光束Lの0次光L0及び異方ブラッグ回折により $f_1$ で周波数変調された1次回折光L3が射出される。

【0022】その後、0次光L0及び1次回折光L3は、レンズ18a、ミラー20、レンズ18bを経て、周波数 $f_2$ の高周波信号SF2で駆動された第2のAOM60に入射する。このとき、レンズ18a及び18bよりなるリレー光学系18a、18bに関して、AOM17の超音波作用領域の中心とAOM60の超音波作用領域の中心とは共役である。また、リレー光学系18a、18b内に配置された空間フィルタ19により、第1のAOM17からの0次光L0及び1次回折光L3以外の光束が遮断されるようになっている。

【0023】また、リレー光学系18a、18bでの反転投影、及びミラー20での反転を考慮して、AOM60はAOM17の場合と逆方向に高周波信号SF2で駆動されている。この結果、0次光L0のAOM60での異方ブラッグ回折によって $f_2$ で周波数変調された1次回折光（以下、単に「光束」と呼ぶ。）L03、及び1

次回折光L3のAOM60における0次光（以下、単に「光束」と呼ぶ。）L30が、異なる方向に射出される。光束L30及び光束L03は共に図1の紙面に垂直な方向に偏光しているため、光束L30及び光束L03を干渉させることによって、周波数（ $f_1 - f_2$ ）のヘテロダインビームが得られる。

【0024】そして、光束L30及び光束L03はそれぞれレンズ21、及び空間フィルタ61を経て、ビームスプリッタ22により2分割される。ビームスプリッタ22を透過した光束L03及び光束L30はレンズ23により集光され、この集光位置に設けられた参照用の回折格子24上には、ピッチ方向に沿って流れる干涉縞が形成される。そして、この回折格子24を介した回折光がフォトダイオード等からなる光電検出器25にて参照用の光ビート信号として光電検出される。

【0025】一方、ビームスプリッタ22で反射された光束L03及び光束L30は、レンズ26a、26bよりなるリレー光学系26、リレーレンズ27、ビームスプリッタ28、平行平板37を通過する。この平行平板37は、投影光学系3の瞳共役位置又はその近傍に、アライメント光学系の光軸に対して傾角可変に設けられ、テレセントリック性を維持するための機能を有する。平行平板37を通過した光束L03及び光束L30は、対物レンズ38、ダイクロイックミラー6を介して、所定の交差角を持つ2方向からレチクル1上の回折格子マークRMを照明する。

【0026】これにより、回折格子マークRM上には、ピッチ方向に沿って流れる干涉縞が形成され、回折格子マークRMの法線方向（投影光学系3の光軸方向）に、光束L03の-3次回折光と、光束L30の+3次回折光とがそれぞれ発生する。そして、光束L03及び光束L30が回折格子マークRMを2方向から照明するときの交差角は、回折格子マークRMのピッチをPRM、光源10から供給される光の基準波長を $\lambda_0$ 、光束L03又は光束L30の回折格子マークRMに対する入射角を $\theta_{RM}$ とすると、次の関係を満足するように設定されている。

【0027】

$$PRM \cdot \sin \theta_{RM} = 3\lambda_0 \quad \dots (1)$$

これにより、回折格子マークRMから発生する $\pm 3$ 次回折光は、再びダイクロイックミラー6、対物レンズ38、平行平板37を通過して、ビームスプリッター28で反射された後、レンズ29及びビームスプリッター30を介して、視野絞り34に達する。

【0028】この視野絞り34は、レチクル1と共役な位置に設けられ、具体的には、図3（a）の斜線部で示す如く、レチクル1の回折格子マークRMからの回折光のみを通過させるように、回折格子マークRMと共役な位置に開口部SRMが設けられている。視野絞り34を通過した回折格子マークRMからの回折光は、0次回折

THIS PAGE BLANK (USPTO)

光を遮光する空間フィルタ35によりフィルタリングされて、±3次回折光のみが光電検出器36に達し、この光電検出器36にてレチクル1の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。

【0029】さて、光束L03及び光束L30は、レチクル上の回折格子マークRMを照明するが、レチクル1には、図2(a)に示す如く、回折格子マークRMと並列的にアライメント光用の透過窓P0が設けられており、図2(b)に示す如く、ウエハ4上でその透過窓P0に対応する位置に、回折格子マークWMが形成されている。

【0030】図1において、レチクル1の透過窓P0を通過した光束L03及び光束L30の一部は、投影光学系3を介して、ウエハ4上の回折格子マークWMを所定の交差角を持った2方向から照明し、これにより回折格子マークWM上には、ピッチ方向に沿って流れる干渉縞が形成される。回折格子マークWMの法線方向(投影光学系3の光軸方向)には、光束L03の-3次回折光と、光束L30の+3次回折光とがそれぞれ発生する。回折格子マークWMから発生する±3次回折光は、再び投影光学系3、透過窓P0(図2(a)参照)、ダイクロミックミラー6、対物レンズ38、平行平板37を通過してビームスプリッタ28で反射された後、レンズ29、ビームスプリッタ30を経て視野絞り31に達する。この視野絞り31は、ウエハ4と共役な位置に設けられており、具体的には、図3(b)の斜線部で示す如く、ウエハ4上の回折格子マークWMからの回折光のみを通過させるように、回折格子マークWMと共役な位置に開口部SWMが設けられている。

【0031】このため、視野絞り31を通過した回折格子マークWMからの回折光は、0次回折光を遮光する空間フィルタ32によりフィルタリングされて、±3次回折光のみが光電検出器33に達し、この光電検出器33にてウエハ4上の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。ここで、各空間フィルタ32、35はアライメント光学系の瞳と略共役な位置、即ち投影光学系3の瞳(射出瞳)と実質的に共役な位置にされ、レチクル1、ウエハ4上に形成された回折格子マークRM、WMからの0次光(正反射光)を遮断し、±3次回折光(レチクル1、ウエハ4上の回折格子マークに対して垂直方向に発生する回折光)のみを通過させるように設定されている。また、光電検出器33及び36は、対物レンズ38及びレンズ29に関して、それぞれレチクル1及びウエハ4と略共役となるように配置されている。

【0032】さて、各光電検出器25、33、36から得られる3つの光電信号は、共に同一の周波数 $\Delta f$ ( $=f_1-f_2$ )の正弦波状の光ビート信号を含んでおり、それぞれ図1の位相検出系50に供給される。この位相検出系50内の光ビート信号抽出部(フーリエ変換回路)にてそれら3つの光電信号を電氣的にフーリエ変換

して、それぞれ周波数 $\Delta f$ の正弦波状の光ビート信号を精度良く抽出し、これら光ビート信号の相互の位相差を検出する。

【0033】今、位置合わせされていない状態でレチクル1、ウエハ4が任意の位置で停止しているとすると、対応する2つの光ビート信号は、一定の位相だけずれることになる。ここで、レチクル1及びウエハ4からの各光ビート信号の位相差(±180°以内)は、レチクル1及びウエハ4上にそれぞれ形成された回折格子マークの格子ピッチの1/2以内の相対位置ずれ量に一義的に対応している。

【0034】このため、予めブリアライメント及びサーチャライメント工程によって、レチクル1とウエハ4上の各ショット領域との相対位置ずれ量が各回折格子マークRM、WMの格子ピッチの1/2以下となるように位置合わせを行う。そして、位相検出系50では例えば回折格子マークRMに対応する光ビート信号と、回折格子マークWMに対応する光ビート信号との位相差を求め、この位相差を装置全体の動作を統轄制御する主制御系51に供給する。それに応じて主制御系51では、位相検出系50から供給された位相差が零又は所定の値となるようにサーボ系52を介してレチクルステージ2又はウエハステージ5を2次元移動させて位置合わせを行う。

【0035】なお、光電検出器25により得られる参照用の光ビート信号を基準信号として、この基準信号と各回折格子マークRM、WMからの光ビート信号との各々の位相差が零又は所定の値となるように位置合わせを行ってもよい。また、AOM17、60を駆動する高周波信号を混合して得られるビート信号を基準信号として利用することもできる。

【0036】次に、互いに異なる周波数の2光束を生成する部分について図4を参照して詳細に説明する。図4では、図1のリレー光学系18a、18bをリレー光学系18で表し、且つミラー20を省略してある。従って、AOM60における高周波信号SF2の印加方向は、図1の場合と逆になっている。図4において、AOM17の音響光学媒体17a内の超音波作用領域の中心(回折点)CAと、AOM60の音響光学媒体60a内の超音波作用領域の中心(回折点)CBとはリレー光学系18に関して共役となっている。

【0037】また、AOM17は、例えば2酸化テルル( $\text{TeO}_2$ )、石英、又はモリブデン酸鉛( $\text{PbMoO}_4$ )等の音響光学媒体17aに、圧電素子等のトランスデューサ17bを被着したものであり、このトランスデューサ17bに発振器16から周波数 $f_1$ の高周波信号SF1が印加されている。同様に、AOM60も、音響光学媒体60aにトランスデューサ60bを被着したものであり、トランスデューサ60bに発振器59から周波数 $f_2$ の高周波信号SF2が印加されている。

【0038】そして、光束Lは図4の紙面に平行な方向

THIS PAGE BLANK (USPTO)

に偏光してAOM17に入射し、AOM17の音響光学媒体17a内の横波の超音波進行波Aによって約50%が異方ブリュッグ回折を受けて1次回折光である光束L3となり、残りの大部分が0次光である光束L0として光軸に平行にAOM17を透過する。また、光束L3は、f1の周波数変調を受けると共に、図4の紙面に垂直な方向に偏光方向が回転しており、0次光L0の偏光方向は入射時と同じである。光束L3及び光束L0はリレー光学系18を介して、第2のAOM60の音響光学媒体60a内の超音波作用領域の中心CBで交差するようにそのAOM60に入射する。

【0039】そして、光束L0はAOM60の音響光学媒体60a内の超音波進行波Bによってほぼ100%が回折されて、f2の周波数変調を受けた1次回折光である光束L03となり、光束L3はAOM60をほぼそのまま透過して0次光である光束L30となる。また、光束L03はAOM60での回折によって偏光方向が図8の紙面に垂直な方向に回転しており、光束L30の偏光方向と等しくなっている。従って、光束L03と光束L30とを位置検出用の光束として使用できる。

【0040】また、0次光L0のAOM60による0次光L00も僅かに発生することがあるが、この0次光L00は図1の空間フィルタ61で遮光される。また、本例では、AOM17に入射した光束Lのほぼ50%がf1の周波数変調を受けた光束L30となり、残りのほぼ全部がf2の周波数変調を受けた光束L03となるため、回折効率が極めて高くなっている。

【0041】ところで、図5に示すように、回折格子マークWMを構成するラインの溝底部が例えば傾きφで格子周期方向に差を持ったりするなど回折格子マークWMの断面形状が非対称性を有する場合には、回折格子マークの振幅反射率の絶対値及び位相も非対称になる。この結果、回折格子マークから発生する回折光も例えば0次光に対して右方向に発生する正の次数と左方向に発生する負の次数とで強度や位相が異なったものになり、位置検出精度が悪化してしまう。特にCMP等の処理が施された低段差のウエハを使用する場合には、検出誤差が大きくなってしまう。

【0042】そこで本例では、LIA方式でアライメントを行う場合に回折格子マークの非対称性による検出誤差が、図6に示すように高次の回折光を使用する程小さくなることを利用して、予めシミュレーションにより図6の誤差曲線を求めておき、上述の±3次回折光の他に、±4次回折光も使用して回折格子マークWMの位置検出を行い、回折格子マークWMの非対称性による検出誤差を推定し補正する。±4次回折光による検出は、図4の発振器16、59からトランスデューサ17b、60bに印加する周波数f1、f2を変更し、実線で示す光束L03、L30を点線で示す光束L04、L40のように変更して、回折格子マークWMに対する入射角を

変更することによって行う。

【0043】まず±3次回折光による検出を行う際には、例えば図4のAOM17、60に印加する超音波の周波数f1、f2を、それぞれ50MHz、50.1MHzとし、光束L03、L30を生成する。図9に示すように、光束L03、L30は回折格子マークWMに対して入射角θ1で入射し、回折格子マークWM上には、ピッチが2μmの干渉縞が形成され、回折格子マークWMの法線方向には、光束L30の-3次回折光L3Aと、光束L03の+3次回折光L3Bとがそれぞれ発生する。ここで、回折格子マークWMのピッチPは12μmであり、光束L03と光束L30とが回折格子マークWMを2方向から照明するときの交差角は、光源10から供給される光の基準波長をλとすると、次の関係を満足するようになっている。

$$【0044】 P \cdot \sin \theta 1 = 3 \lambda \quad \cdots (2)$$

これにより、回折格子マークWMから発生する±3次回折光L3A、L3Bは、光電検出器33に達し、上述のようにウエハ4上の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。このとき、光ビート信号の周波数は100kHzとなる。この周波数は容易にppmのオーダーで安定させることができ、極めて高精度に設定することができる。また、超音波の音速を4000m/secとすると、AOM17、60内を進行する超音波のピッチは80μmであり、0次光を遮光するので干渉縞のピッチが4μmとなるため、AOM17、60～回折格子マークWM間の投影光学系3を含めた光学系の縮小倍率は1/20としている。

【0045】次に、±4次回折光による検出を行う際には、例えば図4のAOM17、60に印加する超音波の周波数f1、f2を、それぞれ66.67MHz、66.77MHzに切り換えて、光束L04、L40を生成する。図9に示すように、光束L04、L40は回折格子マークWMに対して入射角θ2で入射し、回折格子マークWM上には、ピッチが1.5μmの干渉縞が形成され、回折格子マークWMの法線方向には、光束L40の-4次回折光L4Aと、光束L04の+4次回折光L4Bとがそれぞれ発生する。ここで、光束L04と光束L40とが回折格子マークWMを2方向から照明するときの交差角は、次の関係を満足するようになっている。

$$【0046】 P \cdot \sin \theta 2 = 4 \lambda \quad \cdots (3)$$

これにより、回折格子マークWMから発生する±4次回折光L4A、L4Bは、光電検出器33に達し、ウエハ4の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。この光ビート信号の周波数も100kHzとなる。そして、主制御系51では、図6の誤差曲線、及び±3次回折光L3A、L3Bの検出値と±4次回折光L4A、L4Bの検出値とに基づいて回折格子マークWMの非対称性による検出誤差を推定して補正し、サーボ系52を介してウエハステージ5を2次元移動させて位置合わせを

THIS PAGE BLANK (USPTO)



行う。

【0047】以上のように、AOM17、60に印加する超音波の周波数を時間的に切り換え、±3次回折光L3A、L3B及び±4次回折光L4A、L4Bを検出することによって、回折格子マークWMの非対称性による誤差を低減し、高精度なアライメントを行うことができる。また、本例によれば、光束L03、L30及び光束L04、L40は、同一のAOM17、60で生成することができ、さらに、±3次回折光L3A、L3B及び±4次回折光L4A、L4Bの検出も同一の光電検出器33で行うことができ、簡単な構成で回折格子マークWMの位置検出を高精度に行うことができる利点がある。

【0048】また、±3次回折光による検出と±4次回折光による検出との切り換えは、AOM17、60に印加する超音波の周波数の変更を $\mu\text{sec}$ のオーダーで極めて短時間に行うことができ、回折格子マークWMの検出も極めて短時間に行うことができることから、極めて短時間に行うことができる。従って、±3次回折光と±4次回折光とは、見かけ上同時に検出したことになる。また、AOM17、60に印加する超音波について2種類の周波数を同時に加えることもできる。

【0049】なお、検出に使用する回折光の次数は、3次及び4次に限られるものではなく、例えば5次、6次等のより高次の回折光を使用するようにしてもよく、1次回折光等の低次の回折光を使用するようにしてもよい。また、検出の基準又は真値として、光ビート信号のSN比の最も良好な回折光又は最も高次の回折光の検出値を選択するようにしてもよい。

【0050】また、レイヤ毎に、例えばロッドの先頭のウエハのアライメントを行う前に予め誤差曲線を求め、検出誤差のオフセットを記憶して検出の基準となる回折光の次数を、例えば3次等に固定するようにしてもよい。次に、本発明の第2の実施の形態につき図7を参照して説明する。本例は、第1の実施の形態に対して、回折格子マークWMに入射する2光束を生成する部分を変更したものであり、図7において図4に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

【0051】図7において、光源10から射出された光束は、AOM17、60により周波数変調させられ、レンズ21を介してビームスプリッタ70に入射する。ビームスプリッタ70を通過した光束L1は、レンズ71、ビームスプリッタ73、及び空間フィルタ61〜対物レンズ38を介して入射角 $\theta$ で回折格子マークWMに入射するようになっており、回折格子マークWMの法線方向には、光束L1の±1次回折光が発生する。ここで、光束L1が回折格子マークWMを2方向から照明するときの交差角は、次の関係を満足するように設定されている。

$$【0052】P \cdot \sin \theta = \lambda \quad \cdots (4)$$

これにより、回折格子マークWMから発生する±1次回

折光は、光電検出器33に達し、この光電検出器33にてウエハ4上の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。一方、ビームスプリッタ70により反射された光束L3は、ミラー72a、72d及びレンズ72b、72c、72eからなる拡大光学系72を介して、ビームスプリッタ73により反射され、空間フィルタ61〜対物レンズ38を介して所定の入射角で回折格子マークWMに入射するようになっている。拡大光学系72を含む光束L3の光路の光学系の倍率は、レンズ71を含む光束L1の光路の光学系の倍率よりも大きくなっており、本例では、回折格子マークWMの法線方向に光束L3の±3次回折光が発生するような入射角で光束L3が回折格子マークWMに入射するような倍率になっている。そして、回折格子マークWMの法線方向に発生した光束L3の±3次回折光は光電検出器33に達し、この光電検出器33にてウエハ4上の位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。

【0053】以上のように、2光束を空間的に分割して、一方の2光束を他方の2光束と倍率を異ならせて再合成することによって、回折格子マークWMに対する入射角を異ならせることができる。また、第1の実施の形態のように、±3次回折光及び±4次回折光のような高次回折光のみを使用する場合には、検出範囲がそれぞれ $2\mu\text{m}$ 及び $1.5\mu\text{m}$ と狭くなるため、ラフアライメントを行うことが困難になるが、本例のように±1次回折光を使用する場合には、検出範囲が $6\mu\text{m}$ となり、ラフアライメントに対しても実用的なものとなる。

【0054】また、上述の各実施の形態では、±N次光検出方式を用いているが、高次回折光は一般に回折効率が低いため、±N次光検出方式で十分な信号強度が得られない場合には、以下のように0〜N次光検出方式を用いるようにするとよい。図10は、0〜N次光検出方式を用いた場合の回折格子マークWMの近傍の様子を示し、この図10において、光束L03及びL30は、入射角 $\theta$ 3で回折格子マークWMに入射するようになっている。そして、回折格子マークWMから発生する光束L30の0次光と光束L03の−3次回折光L3Cとが光電検出器33Aに達し、この光電検出器33Aにて回折格子マークWMの位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。また、光束L03の0次光と光束L03の3次回折光とが光電検出器33Bに達し、この光電検出器33Bにて回折格子マークWMの位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。ここで、光束L03及びL30が回折格子マークWMを2方向から照明するときの交差角は、次の関係を満足するように設定されている。

$$【0055】2P \cdot \sin \theta 3 = 3\lambda \quad \cdots (5)$$

また、光束L04及びL40は、入射角 $\theta$ 4で回折格子マークWMに入射するようになっており、回折格子マークWMから発生する光束L40の0次光と光束L04の

THIS PAGE BLANK (USPTO)

ー3次回折光L4Cとが光電検出器33Aに達し、この光電検出器33Aにて回折格子マークWMの位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。また、光束L04の0次光と光束L40の3次回折光とが光電検出器33Bに達し、この光電検出器33Bにて回折格子マークWMの位置情報を含んだ光ビート信号が光電検出される。ここで、光束L04及びL40が回折格子マークWMを2方向から照明するときの交差角は、次の関係を満足するように設定されている。

$$【0056】 2P \cdot \sin \theta 4 = 4\lambda \quad \cdots (6)$$

このように、0-N次光検出方式を用いることによって、±N次光検出方式を用いる場合よりも高い信号強度を得ることができる。また、図8に示すように、0次光L30とー3次回折光L3Dとを光電検出器33Aで、0次光L03と3次回折光L3Cとを光電検出器33Bで、それぞれビームスプリッタ等を介さずに検出するようにしてもよい。

【0057】ところで、AOMの音響光学媒体に加える超音波の周波数をfとすると、次式で与えられるパラメータQを適切に選ぶように注意する必要がある。

$$Q = (2\pi L \lambda f^2) / nV^2 \quad \cdots (7)$$

但し、Lは超音波作用領域の長さ、λは使用される光束の中心波長、nは音響光学媒体の屈折率、Vは超音波の速度である。そして、Qの値が4π前後(≒12.6)ではブラッグ回折が起こり、Qの値が2の前後ではラマン-ナース(Raman-Nath)回折が起こる。そして、そのQの値の条件をほぼ満たす範囲で、超音波の周波数fを調整することで、その音響光学媒体内の進行波のピッチを或る程度変化させることができ、回折格子マークWMに入射する2光束の交差角を変化させることができる。また、第2の実施の形態のように、2光束を分割して、一方の2光束を他方の2光束と倍率を異ならせて再合成することによって、回折格子マークWMに対する入射角を互いに異ならせる場合には、さらに広い範囲で交差角を変化させることができる。

【0058】また、上記の各実施の形態は、本発明をTTR方式のアライメント系に適用したものであるが、本発明はオフ・アクシス方式のアライメント系にも適用することができる。更に、上記の各実施の形態は、本発明をステッパー型の投影露光装置のアライメント系に適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置、更には投影光学系を使用しないプロキシミティ方式の露光装置等のアライメント系にも適用することができる。

【0059】また、上記の実施の形態の投影露光装置は、照明光学系や投影光学系の調整を行うと共に、各構成要素を、電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられる。この場合の作業は温度管理が行われたクリーンルーム内で行うことが望ましい。そして、上記のよう

に露光が行われたウエハ4が、現像工程、パターン形成工程、ボンディング工程等を経ることによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

【0060】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

#### 【0061】

【発明の効果】本発明によれば、マークの非対称性による検出誤差を低減することができ、その物体の位置合わせを高精度に行うことができる。また、その第1の2光束の入射によりそのマークから発生した回折ビームとその第2の2光束の入射によりそのマークから発生した回折ビームとを、同一の光電検出器を用いて検出することができ、装置の構成が簡単になる利点がある。また、露光ビームを用いて物体上に所定パターンを形成する場合に、本発明を適用した場合には、その所定パターンをその物体上に高精度に露光することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態において使用される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】 (a)はレチクル上の回折格子マーク及び透過窓を示す平面図、(b)はウエハ上の回折格子マークを示す平面図である。

【図3】 (a)はレチクルと共役な視野絞りを示す図、(b)はウエハと共役な視野絞りを示す図である。

【図4】 図1の投影露光装置のアライメント系を示す図である。

【図5】 格子方向の断面形状に非対称性を有する回折格子マークを示す断面図である。

【図6】 LIA方式でアライメントを行う際の回折光の次数Nと回折格子マークの非対称性による検出誤差δとの関係の一例を示すグラフである。

【図7】 本発明の第2の実施の形態において使用される投影露光装置のアライメント系を示す図である。

【図8】 0-N次光検出方式でアライメントを行う際の回折格子マークの近傍を示す図である。

【図9】 ±N次光検出方式でアライメントを行う際の回折格子マークの近傍を示す図である。

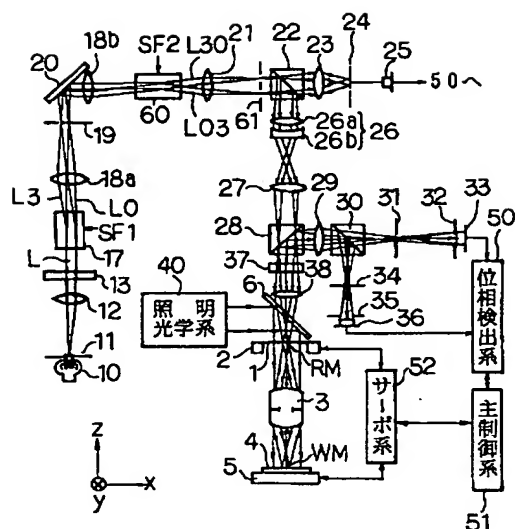
【図10】 0-N次光検出方式でアライメントを行う際の回折格子マークの近傍を示す図である。

#### 【符号の説明】

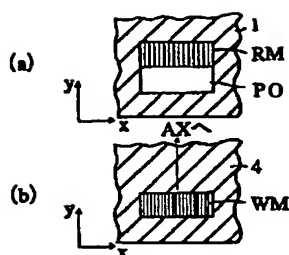
RM, WM…回折格子マーク、1…レチクル、3…投影光学系、4…ウエハ、10…光源、11…可変絞り、12…コンデンサレンズ、13…バンドパスフィルタ、17, 60…音響光学素子(AOM)、18a, 18b…リレー光学系のレンズ、19, 61…空間フィルタ、25, 33, 36…光電検出器、38…対物レンズ、71…レンズ、72…拡大光学系

THIS PAGE BLANK (ISPTO)

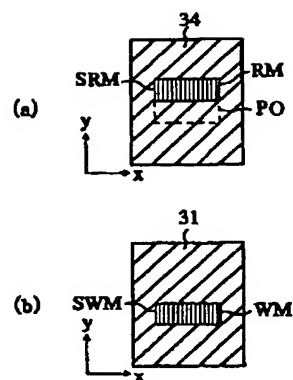
【图 1】



【图 2】

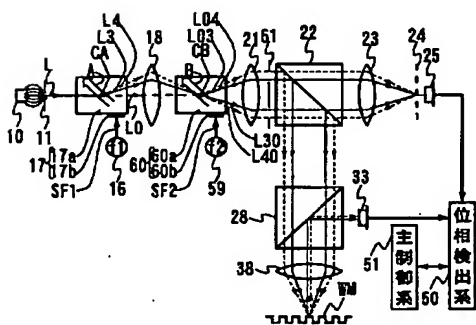


【图 3】

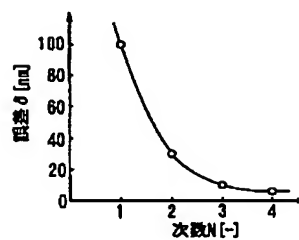


【図 6】

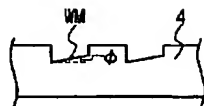
【図4】



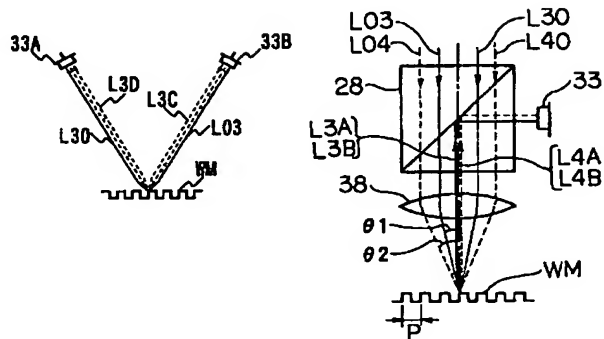
【図5】



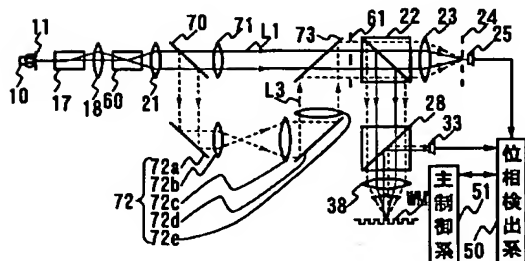
【图8】



【图9】

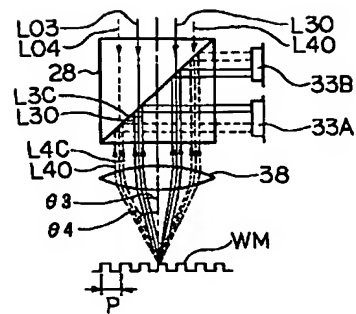


【图7】



THIS PAGE BLANK (USPTO)

【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I  
H O I L 21/30

ターマコード (参考)  
5 0 7 R

F ターム (参考) 2F065 AA03 AA14 BB02 BB28 CC20  
DD00 DD02 FF48 FF49 FF52  
GG02 GG03 GG04 GG24 HH12  
JJ01 JJ05 JJ18 LL00 LL20  
LL46 LL57 LL59 NN08 PP12  
UU01 UU07  
2H051 AA10 BA53 BA72 CE12 CE14  
2H097 CA16 GB00 KA20 LA10 LA12  
5F046 AA20 BA02 BA03 CB17 DA12  
DB05 EA07 EA09 FA06 FA09  
FC04

THIS PAGE BLANK (USPTO)